

浙江沐尘岩体与西山头组火山岩的 岩浆同源分析

卢成忠¹ 颜铁增¹ 董传万² 顾明光¹

(1. 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203; 2. 浙江大学地球科学系, 浙江 杭州 310027)

摘要:沐尘岩体与旁侧西山头组火山岩、潜火山岩在空间上密切共生, 形成时间相近; 岩石类型都属中酸性岩类; 具有相近的岩石化学成分, 均属弱碱质岩系; 各种岩石的稀土配分曲线除 Eu 外具有基本一致的型式, 微量元素配分曲线形态也基本一致, 说明它们是同源岩浆演化的产物。其岩石类型、岩石化学和稀土元素、微量元素地球化学方面具有相似性和一致性, 岩浆演化均有反序现象, 说明它们属同熔型火山-侵入岩组合。根据 2004 年国际地层委员会公布的侏罗系与白垩系的分界年龄(145.5 ± 4.0 Ma), 并结合沐尘岩体与旁侧西山头组火山岩的成因关系, 沐尘岩体的形成时代确定为早白垩世早期似更合理。

关键词:沐尘岩体; 西山头组火山岩; 潜火山岩; 同源岩浆; 早白垩世

中图分类号: P588.12¹-2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0146-07

龙游沐尘岩体位于江山—绍兴断裂带西南段, 面积约 58 km², 由于与溪口大型黄铁矿有密切的成因关系和特殊的大地构造位置, 故沐尘岩体的侵入时代, 与围岩火山岩的关系等问题, 一直以来为地质工作者所瞩目。笔者通过 1:5 万和 1:25 万区调工作, 对沐尘岩体与西山头组(K₁x)火山岩、潜火山岩进行了综合分析研究, 着重就火山作用与侵入作用的关系及沐尘岩体的侵入时代问题进行初步探讨。

1 火山活动与侵入活动的时空关系

本区西山头组火山岩分布面积 61 km², 厚度 1439.13 m, 火山岩地层层序清楚, 上有早白垩世晚期朝川组沉积岩不整合覆盖, 下伏早白垩世早期高坞组为巨厚的高晶屑熔结凝灰岩堆积。西山头组火山岩依据岩性组合和冷却单元划分为 3 个岩性段: 第一、二岩性段各为一个冷却单元, 第三岩性段有 2 个冷却单元, 每个冷却单元主要是火山碎屑流(熔结凝灰岩)堆积, 其下部局部出现涌流堆积。火山喷发自早期至晚期爆发指数增高, 火山活动强度有不断增大的趋势。

沐尘岩体出露于龙游县沐尘至遂昌县双溪口一带, 面积 58 km², 呈北北东向长透镜状岩株产出, 该岩体侵入于元古界

龙游岩群变质岩与早白垩世早期高坞组、西山头组火山岩及潜火山岩, 周围又被卫星状的 4 个花岗斑岩体、3 个钾长花岗岩体及 2 个石英正长岩体侵入(图 1), 其全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (141 ± 7) Ma^①。该岩体岩性分带明显, 主要为石英二长岩及二长岩, 岩体由中心往边缘岩石中的斑晶是从无到有、由少到多的变化趋势, 在空间上紧密伴生, 时间上紧密相关, 成分和结构上具演化关系, 根据花岗岩类岩石谱系单位的划分原则^[1], 划分为 3 个单元, 即大山单元(多斑状中细粒黑云角闪石英二长岩)、梧村单元(斑状中细粒黑云角闪石英二长岩)和下坞单元(细中粒角闪黑云二长岩), 并归为一个序列, 即沐尘序列。

沐尘岩体与西山头组火山岩、潜火山岩的空间分布关系密切, 沐尘岩体分布于内侧, 潜火山岩分布于旁侧, 西山头组火山岩分布于外侧及旁侧, 具有相互依存的空间环境, 它们在空间上呈北东向透镜条带状展布, 受基底北东向构造带的控制。西山头组火山岩和沐尘岩体出露面积相差无几。

在野外, 沐尘岩体和潜火山岩与其周围的变质岩、火山岩围岩都呈侵入接触, 沐尘岩体与西山头组火山岩围岩的接触带, 虽岩体矿物粒度变细(范围很有限), 但经野外仔细观

收稿日期: 2005-04-12; 改回日期: 2005-07-05

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(20011300032)资助。

作者简介: 卢成忠, 男, 1950 生, 高级工程师, 从事区域地质调查工作; E-mail: cz5064@163.com。

① 浙江省地质矿产研究所. 浙江省铜矿成矿地质条件与找矿方向研究报告, 1993.

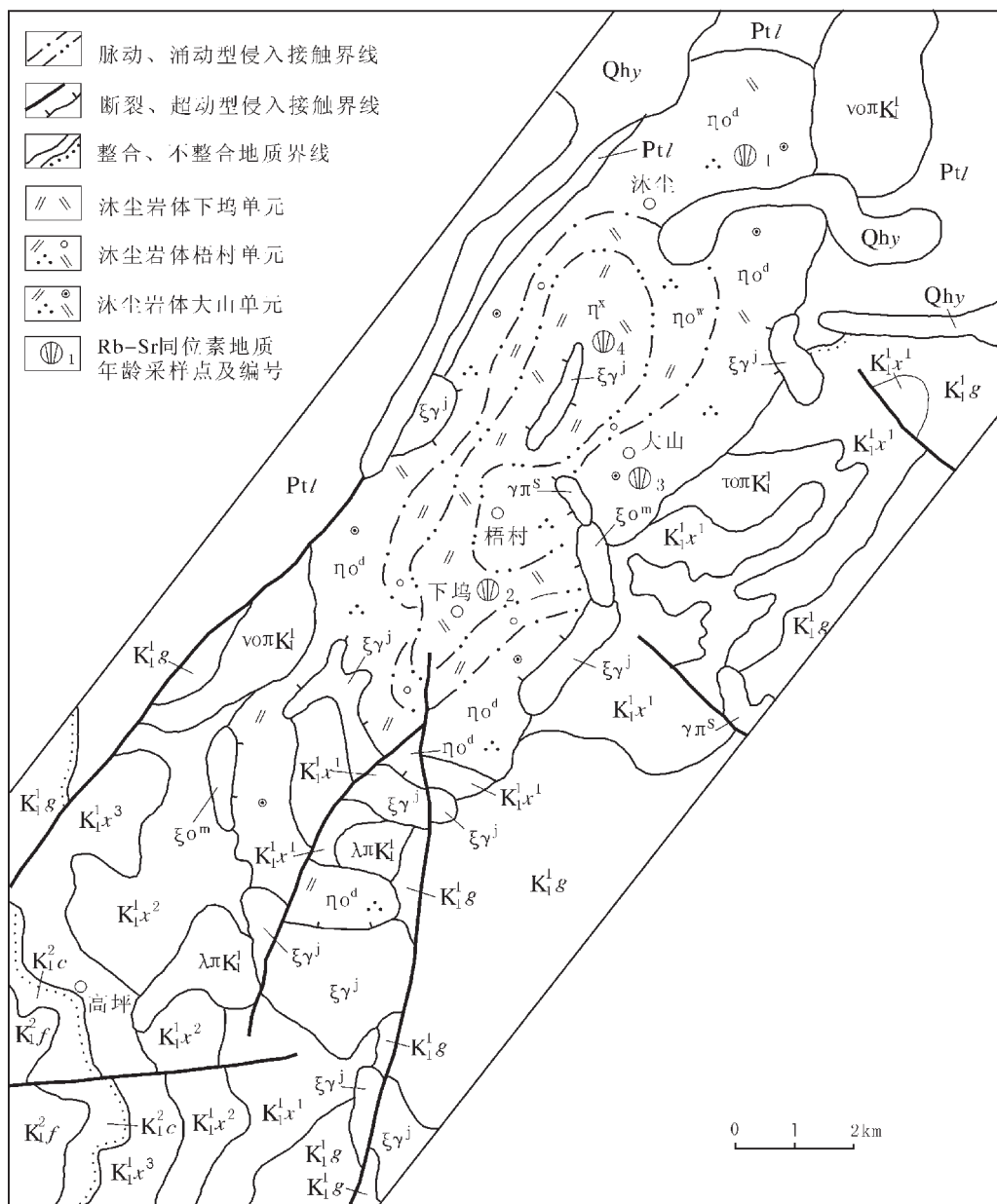


图 1 龙游县沐尘—高坪一带地质图

Qhy—鄞江桥组;K₁f—方岩组;K₁c—朝川组;K₁x³—西山头组第三段;K₁x²—西山头组第二段;K₁x¹—西山头组第一段;K₁g—高坞组;Pt/—龙游岩群变质岩;γπ[—]—宋家桥单元(花岗岩斑岩);ξγ^j—际下单元(钾长花岗岩);ξ^m—毛栗山单元(石英正长岩);η^s—下坞单元(细中粒角闪黑云二长岩);η^w—梧村单元(斑状中细粒黑云角闪石英二长岩);η^d—大山单元(多斑状中细粒黑云角闪石英二长岩);λπK₁¹—流纹斑岩潜火山岩体;voπK₁¹—石英霏细斑岩潜火山岩体

Fig.1 Geologic map of the Muchen-Gaoping area, Longyou County

Qhy—Yinjiangqiao Formation ;K₁f—Fangyan Formation;K₁c—Chaoshuan Formation;K₁x³—Third Member of the Xishantou Formation;K₁x²—Second Member of the Xishantou Formation;K₁x¹—First Member of the Xishantou Formation;K₁g—Gaowu Formation; Pt/—metamorphic rocks of the Longyou Group;γπ[—]—Songjiaqiao unit (granite-porphyry);ξγ^j—Jixia unit (potash feldspar granite)-; ξ^m—Maolishan unit (quartz syenite);η^s—Xiawu unit (fine- and medium-grained hornblende-biotite monzonite); η^w—Wucun unit (porphyritic medium- and fine-grained biotite-hornblende-quartz monzonite); η^d—Dashan unit (more porphyritic medium- and fine-grained biotite-hornblende-quartz monzonite); λπK₁¹—subvolcanic body of rhyolite-porphyry;voπK₁¹—subvolcanic body of quartz felsite-porphyry

察并采样品磨薄片在显微镜下观察,均无显著的接触变质现象,而在潜火山岩与西山头组火山岩的接触带更见不到接触变质现象。上述表明,西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体的形成时间很相近,但比较起来,火山岩形成略早,潜火山岩次之,沐尘岩体形成略晚。

2 岩浆的同源性

沐尘岩体与西山头组火山岩、潜火山岩在岩石类型、岩石化学、稀土元素和微量元素地球化学方面具有相似性和一致性。

2.1 岩石类型及特征

西山头组火山岩岩石类型以熔结凝灰岩为主体,在冷却单元的下部,局部出现火山-沉积岩、角砾集块岩、凝灰角砾岩及凝灰岩等。熔结凝灰岩及凝灰岩类的成分主要是粗面质,局部过渡为石英粗面质。熔结凝灰岩按碎屑组进一步划分,以玻屑熔结凝灰岩为主,西山头组第三段出现较多的玻屑晶屑熔结凝灰岩,晶屑成分主要是钾钠长石及少数斜长石、黑云母,局部还有少量角闪石等。采集的分析样品选择了无外来碎屑的岩石,能代表其原来的岩浆成分。

沐尘岩体岩性以石英二长岩为主体,其次为二长岩,局部过渡为石英正长岩、石英闪长岩等。岩石具似斑状结构、半自形粒状结构或二长结构。岩石中矿物成分主要是钾钠长石、斜长石及少量角闪石、黑云母、石英等。

2.2 主要元素

综合西山头组火山岩、潜火山岩和沐尘岩体的岩石化学分析及主要参数特征(表1),可以看出它们具有相近的化学成分,均属弱碱质岩系。火山岩的SiO₂含量在61.12×10⁻²~65.00×10⁻²,平均为63.02×10⁻²;K₂O+Na₂O在10.68×10⁻²~11.42×10⁻²,平均11.22×10⁻²。沐尘岩体的SiO₂在59.18×10⁻²~66.20×10⁻²,平均为61.18×10⁻²;K₂O+Na₂O在7.80×10⁻²~10.42×10⁻²,平均8.84×10⁻²,它们均有贫SiO₂富K₂O+Na₂O且具有显著富钾的特点。从西山头组火山岩与沐尘岩体的分异指数(DI)对SiO₂、Al₂O₃和CaO变异图(图2)可以看出,西山头组火山岩从第一段到第三段SiO₂含量逐渐减少,而Al₂O₃、CaO含量有增加的趋势;沐尘岩体的3个单元中,从形成的较早单元到较晚单元SiO₂、Al₂O₃、CaO含量发生同样的变化,反映出西山头组火山岩与沐尘岩体的岩浆成分均有反序列演化的特点。西山头组火山岩与沐尘岩体的化学成分基本相近,但仍有一定的差异,这种差异具有连续变化的过程,表现为岩浆喷出至后阶段岩浆侵入,K₂O、Na₂O、SiO₂值依次降低,铁的氧化度(Fe³⁺/Fe²⁺+Fe³⁺)明显变低,而固结指数(SI)值和MgO、CaO及TFe组分则明显递增,显示了这一系列岩石来源于同一岩浆源。岩石标准矿物也有差异,说明了岩浆早期以分离结晶为主的分异作用,上部岩浆富含K₂O、Na₂O,下部岩浆富集CaO、MgO及TFe组分,具有明显的岩浆分带特点,其上部表现为喷发形式,下部岩浆则呈侵入产出。

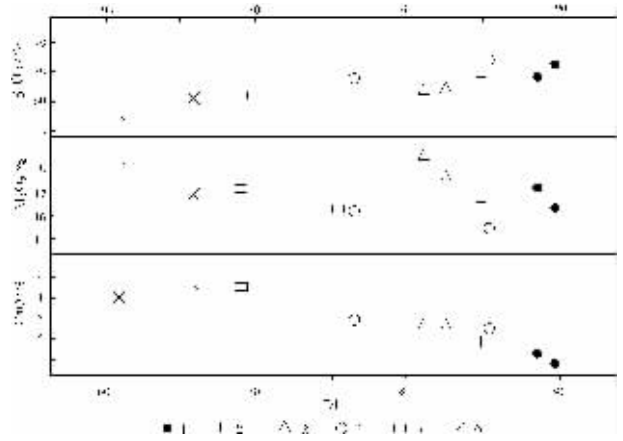


图2 西山头组火山岩与沐尘岩体的分异指数(DI)与SiO₂、Al₂O₃和CaO变异图

- 1—西山头组火山岩第一段;2—西山头组火山岩第二段;
- 3—西山头组火山岩第三段;4—沐尘岩体大山单元;
- 5—沐尘岩体梧村单元;6—沐尘岩体下坞单元

Fig.2 Variation diagram of differentiation index (DI) vs SiO₂, Al₂O₃ and CaO of the Xishantou Formation volcanic and subvolcanic rocks and the Muchen intrusion

- 1—First Member of the Xishantou Formation;2—Second Member of the Xishantou Formation;3—Third Member of the Xishantou Formation;4—Dashan unit; 5—Wucun unit;6— Xiawu unit

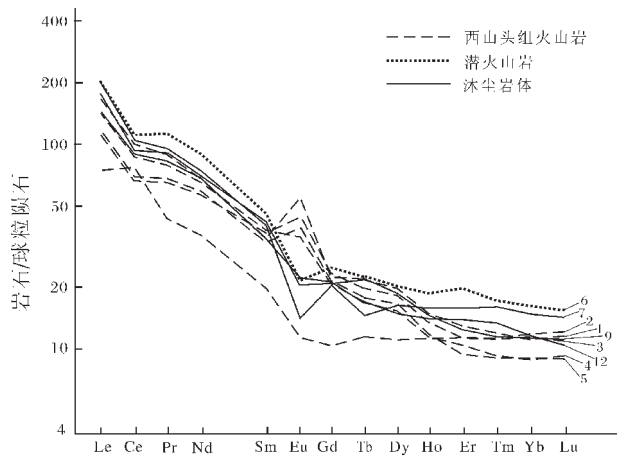


图3 西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体稀土配分模式图

Fig.3 REE distribution patterns for the Xishantou Formation volcanic and subvolcanic rocks and the Muchen intrusion

2.3 稀土元素

西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体的稀土元素分析数据及主要参数特征见表1,样品1~5号采自西山头组地层

表 1 西山头组火山岩、潜火山岩和沐尘岩体常量元素 (10^{-2})和微量元素 (10^{-6})化学成分
 Table 1 Major element(10^{-2}) and trace element(10^{-6}) data of Xishantou Formation volcanic rocks, subvolcanic rocks and Muchen intrusive rocks

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	65.00	63.83	63.67	61.46	61.12	69.02	66.20	62.92	59.89	64.90	59.18	56.96
TiO ₂	0.38	0.58	0.61	0.45	0.45	0.22	0.37	0.46	0.68	0.56	0.76	0.88
Al ₂ O ₃	16.26	17.08	16.27	17.26	18.24	15.65	15.39	15.96	16.73	15.98	16.54	17.77
Fe ₂ O ₃	3.53	4.39	2.09	3.51	3.38	2.41	2.23	2.57	2.86	2.63	3.44	1.53
FeO	0.86	0.19	1.30	0.71	0.82	0.50	2.08	2.54	3.16	1.68	2.92	4.57
MnO	0.08	0.14	0.34	0.13	0.10	0.10	0.06	0.09	0.08	0.06	0.14	0.09
MgO	0.31	0.19	0.65	0.54	0.73	0.13	0.79	1.25	2.13	1.81	2.14	2.59
CaO	0.52	0.91	1.44	2.10	2.37	0.57	2.15	2.87	4.18	2.60	4.18	3.69
Na ₂ O	4.68	4.34	5.10	4.16	4.48	4.66	4.58	4.16	3.78	3.47	3.67	3.32
K ₂ O	6.56	7.08	5.58	7.22	6.92	5.86	5.84	5.28	4.88	4.74	4.81	4.48
P ₂ O ₅	0.12	0.18	0.11	0.16	0.17	0.06	0.15	0.26	0.31	0.16	0.26	0.42
K ₂ O+Na ₂ O	11.24	11.42	10.68	11.38	11.40	10.52	10.42	9.44	8.66	8.21	8.48	7.80
SI	1.94	1.17	4.42	2.63	4.47	0.96	5.09	7.91	12.67	12.63	12.60	15.71
W	0.80	0.96	0.62	0.83	0.80	0.83	0.52	0.50	0.48	0.61	0.54	0.25
La	27.6	63.5	56.7	44.6	43.7	76.0	67.4		57.6			53.2
Ce	74.6	89.6	82.4	67.2	63.4	106	96.6		88.9			83.0
Pr	5.63	12.2	11.0	9.34	8.92	15.6	12.6		11.2			10.8
Nd	24.6	47.7	43.6	39.6	38.3	67.2	50.8		49.7			49.6
Sm	4.18	8.72	8.29	7.46	7.54	10.8	8.49		8.72			8.02
Eu	0.93	2.90	3.77	3.27	4.50	1.56	1.19		1.67			1.88
Gd	3.07	6.30	6.62	5.60	5.76	7.53	6.47		6.43			5.97
Tb	0.71	1.07	1.22	0.90	0.89	1.23	0.81		0.94			0.91
Dy	4.07	6.90	7.19	5.46	5.98	7.47	6.29		5.67			5.48
Ho	0.94	1.16	1.20	0.98	1.03	1.55	1.30		1.17			1.15
Er	2.92	3.13	2.79	2.48	2.25	4.67	4.00		3.48			3.26
Tm	0.42	0.46	0.44	0.35	0.35	0.64	0.60		0.51			0.45
Yb	2.59	2.94	2.64	2.15	2.10	3.74	3.54		2.70			2.56
Lu	0.43	0.47	0.41	0.34	0.32	0.56	0.53		0.42			0.37
Y	16.5	27.3	23.1	22.2	18.4	32.0	28.4		24.5			21.7
ΣREE	152.91	247.05	228.27	189.73	185.04	304.55	260.62		238.66			226.65
LREE/HREE	9.1	10.0	9.1	9.4	8.9	10.1	10.4		10.2			10.2
δeu	0.77	1.15	1.52	1.5	2.03	0.51	0.47		0.68			0.80
Rb	170	179	194	148		197	230		167			154
Ba	840	790	910	1800		830	760		670			840
Th	14.8	17.6	13.8	16.6		21.4	25.1		18.5			16.2
U	0.64	1.98	1.31	0.64		1.98	1.98		2.42			1.98
Nb	15.5	21.9	18.5	27.5		28.2	24.6		15.1			17.6
Sr	161	84	400	245		123	550		800			1100
Zr	308	260	285	310		250	210		170			210
Hf	9.6	5.9	8.8	7.1		8.2	7.6		5.9			4.9
Y	16.5	27.3	23.1	22.2		32.0	28.4		24.5			21.7
Li	9.4	13.5	28.4	13.6		15.0	16.2		11.6			12.3
Cs	1.8					2.2	2.7		2.8			2.7
Cr	2	2	4	2		0	1		2			5
Co	5.8	5.1	7.3	5.0		4.4	7.8		14.5			17.3
Ni	4	4	8	7		2	6		4			3
V	22	16	18	20		1.9	38		101			122
Ta	1.2	1.6	1.2	2.0		1.2	1.6		1.2			1.2
Sc	6.9	3.6	6.7	6.5		2.8	4.3		11.5			15
Rb/Sr	1.06	2.13	0.49	0.60		1.60	0.42		0.21			0.14
Rb/Ba	0.20	0.23	0.21	0.08		0.24	0.30		0.25			0.18

注:序号 1~2,3,4~5 分别为西山头组第一、二、三段火山岩,6 为潜火山岩,7~8,9~10,11~12 号均为沐尘岩体(形成早单元到晚单元)分别形成大山单元、梧桐单元、下坞单元。序号 1—(石英)粗面质熔结凝灰岩,2、3、5—粗面质熔结凝灰岩,4—粗面质熔结角砾凝灰岩,6—石英粗面岩,7—石英正长岩,8~10—石英二长岩,11~12—二长岩。主要元素由浙江省地调院实验室分析,分析方法:Si 采用重量法;Al 和 Fe²⁺采用容量法;Fe³⁺和 Ti 采用比值法;K、Na、Ca、Mg 和 Mn 采用原子吸收分光光度计法。稀土元素与微量元素由宜昌地质矿产研究所测定,分析方法:稀土元素用等离子光谱法;微量元素用 X 荧光法。

剖面中,7、9、12号采自沐尘岩体3个单元剖面中,它们具有代表性。从表1中可以看出,本区岩石的稀土元素特征值变化很大,总稀土含量最低仅 152.91×10^{-6} ,最高达 304.55×10^{-6} ; δEu 最小为0.51,最大为2.03;轻重稀土比值最小为8.9,最大达13.9。这些都反映出形成本区岩石的岩浆发生了强烈的分异作用。

同时,西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体的 ΣREE 、 $LREE/HREE$ 和 δEu 其平均值分别为 225.24×10^{-6} 、10.14和1.05,与同熔型花岗岩最接近^[2],表明它们应属同熔型火山-侵入岩组合^[3]。在沐尘岩体的3个单元中(表1),从形成的较早单元到较晚单元 ΣREE 值不断减少,而 δEu 值逐渐增加;西山头组火山岩从第一段到第三段的 ΣREE 值与 δEu 值有同样的变化趋势,亦反映了沐尘岩体与西山头组火山岩的岩浆演化均有反序列的特点。

从稀土配分模式图(图3)可以看出,各种岩石的曲线除Eu外具有基本一致的型式,说明它们是同源岩浆演化的产物。西山头组火山岩Eu的平均含量达 3.07×10^{-6} , K_2O+Na_2O 平均含量高达 11.22×10^{-2} ,而CaO平均含量仅 1.47×10^{-2} ;沐尘岩体Eu的平均含量 1.58×10^{-6} , K_2O+Na_2O 平均含量 8.84×10^{-2} ,而CaO平均含量达 3.28×10^{-2} ,显示 K_2O+Na_2O 和CaO含量对Eu的增益和亏损具有举足轻重的制约作用。从西山头组火山岩、潜火山岩到沐尘岩体,Eu由正异常转变为负异常,这与岩浆的结晶分异作用过程和该地岩石演变相符合。结合本区岩石的矿物成分和岩石化学等特征及形成顺序,表明形成本区岩石的岩浆,在岩浆房内经历了较长期的稳定贮存期和结晶分异作用,使岩浆房内具有分带的特点。上部岩浆贫CaO而富 K_2O+Na_2O ,由于分异不充分等复杂原因,使Eu大多出现正异常,喷出后可明显分为3个岩性段;下部富集CaO、MgO和Fe组分,经历了较长期的结晶分异作用,结晶出大量的更一中长石,在还原环境下 Eu^{2+} 能富集到含钙的岩浆分离体,类质同象替代Ca而进入斜长石晶格,结果与其他稀土元素分离,致使沐尘岩体中的Eu转变为负异常,并且岩浆结晶后使沐尘岩体的岩性具有明显的分带性,可明显划分为3个单元。

2.4 微量元素

从西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体微量元素分析

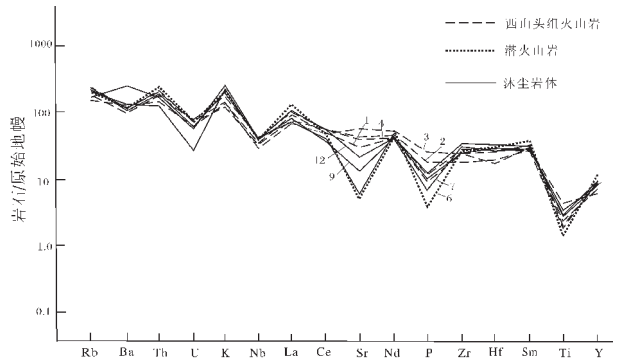


图4 西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体微量元素分配型式图

Fig.4 Trace element distribution patterns for the Xishantou Formation volcanic and subvolcanic rocks and the Muchen intrusion

的特征值(表2)可以看出,它们可具有如下特征:

- (1) Li、Rb、Cs含量变化小,Cr、Co、Ni含量变化大, $\Sigma(Li、Rb、Cs)/\Sigma(Cr、Co、Ni)$ 比值亦变化大,显示岩石成分的改变主要是由于分异作用,而不是由于物源的改变造成的^[3-5];
- (2) Rb/Sr比值,变化为0.26~1.60,落在同熔型花岗岩范围内(0.1~3)^[2],Rb/Ba比值很小,变化于0.20~0.24之间;
- (3) Zr/Nb比值为8.87~19.87,Zr/V比值变化较大为2.98~131.58。

上述特征同样表明本区岩石属于强烈分异的同熔型火山-侵入岩组合。

从表1还可看出,沐尘岩体与西山头组火山岩的形成由早期到晚期Rb元素均有减少的趋势,实际上这是一种岩浆演化的反序现象。西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体微量元素经原始地幔标准化所作的分配型式图(图4)表明:各种岩石的微量元素配分曲线形态基本一致,反映了岩浆的喷发与侵入,微量元素的富集和亏损是基本相同的。它们稍有不同的是沐尘岩体Sr、P、U元素亏损比西山头组火山岩大,潜火山岩Sr、P元素的亏损亦比西山头组火山岩强烈一些,这反映了有强烈分异的斜长石和磷灰石的分离结晶有关,说

表2 西山头组火山岩、潜火山岩与沐尘岩体微量元素特征值
Table 4 Trace element characteristic values of Xishantou Formation volcanic rocks, subvolcanic rocks and Muchen intrusive rocks

岩石单元	微量元素特征值						
	$\Sigma(Li、Rb、Cs)$	$\Sigma(Cr、Co、Ni)$	$\Sigma(Li、Rb、Cs)/\Sigma(Cr、Co、Ni)$	Rb/Sr	Rb/Ba	Zr/Nb	Zr/V
西山头组火山岩	181	11.8	15.3	1.06	0.20	19.87	14
潜火山岩	214	6.4	33.4	1.60	0.24	8.87	131.58
沐尘超单元	199	20.2	9.8	0.26	0.24	10.57	2.98

明了本区岩石经历了比较长期的形成过程。

3 沐尘岩体形成时代的讨论

为了确定沐尘岩体的侵入时代,在沐尘岩体的不同部位采集了岩性有一定差异的样品作全岩 Rb-Sr 同位素分析(表 3),在等时线图(图 5),4 个样品点之间线性相关性较好($r=0.997568$),测得沐尘岩体的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(141\pm 7)\text{Ma}$ 。根据 2004 年国际地层委员会公布的侏罗系与白垩系的分界年龄 $(145.5\pm 4.0\text{Ma})$ ^[9],并结合沐尘岩体与旁侧西山头组火山岩的成因关系,沐尘岩体的形成时代确定为早白垩世早期更合理。

沐尘岩体的形成时代确定,这不仅仅是沐尘岩体本身的时代意义,同时还涉及岩体周边与岩体有同源关系的火山岩也有时代意义。根据上述岩浆同源演化原则,沐尘岩体周边的磨石山群高坞组、西山头组的火山岩形成时代也应确定为早白垩世早期比较合理,这与近年来 1:25 万区调成果^①对磨石山群的时代厘定为早白垩世早期也是吻合的。

值得注意的是,浙江省磨石山群(建德群)火山岩同位素年龄值一般在 117~140 Ma 之间,其地质时代主要取决于当时国际地层委员会和国际地质科学联合会界定的侏罗系与白垩系的分界年龄,如浙江省区域地质志^②采用 135 Ma 和浙江省岩石地层^③采用 137 Ma 作为侏罗系与白垩系的分界年龄,都将浙江省磨石山群(建德群)地质时代置于晚侏罗世。随着国际侏罗系—白垩系的分界年龄的研究更新和下移,2002 年国际地质科学联合会公布的侏罗系与白垩系的分界年龄为 $(142.0\pm 2)\text{Ma}$ ^[9],2004 年国际地层委员会公布的侏罗系与白垩系的分界年龄为 $(145.5\pm 4.0)\text{Ma}$ ^[9],这二种分界年龄已成当今国际、国内侏罗系—白垩系界线年龄划分的主流。因此,笔者将沐尘岩体及其周边的磨石山群地质时代划归早白垩世早期,是符合当今国际、国内主流的。

4 结论

沐尘岩体与旁侧西山头组火山岩、潜火山岩的空间分布关系密切,具有相互依存的空间环境,形成时间相近,但比较起来,火山岩形成略早,潜火山岩次之,沐尘岩体形成略晚。其岩石类型都属中酸性岩类;具有相近的岩石化学成分,均属弱碱质岩系。三者稀土元素特征值变化很大,反映出形成岩石的岩浆发生强烈的分异作用;各种岩石的稀土配分曲线除 Eu 外具有基本一致的型式,微量元素配分曲线形态也基本一致,说明它们是同源岩浆演化的产物;它们在岩石类型、岩石化学和稀土元素、微量元素地球化学方面具有相似性和一致性,岩浆演化均有反序现象,表明它们属于强烈分异的

表 3 沐尘岩体 Rb-Sr 同位素分析
Table 3 Results of Rb-Sr isotope analysis

样号	岩性	Rb (10^{-6})	Sr (10^{-6})	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
M-1	斑状石英二长岩	158.08	689.53	0.66084	0.70630
M-2	斑状石英二长岩	223.85	420.53	1.5347	0.70814
M-3	斑状石英二长岩	208.38	433.82	1.3848	0.70777
M-7	花岗闪长岩	178.13	710.44	0.72277	0.70656

注:由宜昌地质矿产研究所分析。

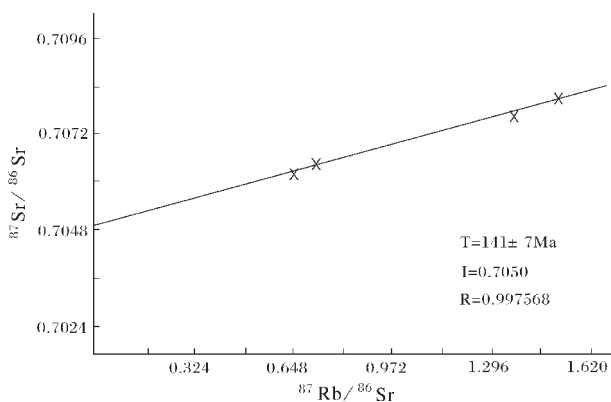


图 5 沐尘岩体全岩 Rb-Sr 等时线图

Fig.5 Whole-rock Rb-Sr isochron diagram of the Muchen intrusion

同熔型火山-侵入岩组合。根据 2004 年国际地层委员会公布的侏罗系与白垩系的分界年龄 $(145.5\pm 4.0)\text{Ma}$ ^[9],并结合沐尘岩体与旁侧西山头组火山岩的成因关系,沐尘岩体的形成时代确定为早白垩世早期更合理。

感谢南京地质矿产研究所陶奎元研究员阅读全文并提出宝贵意见。

参考文献(References):

- [1] 地质矿产部直属单位管理局.花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南[M].武汉:中国地质大学出版社,1991.110~122.
Ministry of Geology and Mineral Resources of People's Republic of China, General Bureau of Geology and Mineral Resources. A Guide to the Method of the 1:50000 Regional Geological Survey in Igneous Granite Areas [M].Wuhan:China University of Geosciences Press,1991. 110~122(in Chinese with English abstract).
- [2] 徐克勤,朱金初,刘昌实,等.华南花岗岩类的成因类型和物质来源[J].南京大学学报(地球科学),1989,(3):1~18.
Xu Keqin,Zhu Jinchu,Liu Changshi,et al.Genetic series and material

① 南京地质矿产研究所.1:25 万嵊县幅.区域地质调查成果报告,2004.

② 浙江省地质调查院.1:25 万金华幅.区域地质调查成果报告,2005.

- sources of granitoids in South China [J]. *Journal of Nanjing University (Earth Sciences)*, 1989, (3) 1~18 (in Chinese with English abstract).
- [3] 杜杨松, 王德滋, 陈克荣. 浙东南沿海中生代火山—侵入杂岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1989. 64~88.
- Du Yangsong, Wang Dezi, Chen Kerong. On Characteristics, Evolution and Origin of Acidic—Intermediate Volcanic—Intrusive Complexes—Exemplified by those in the Coastal Area of South-eastern Zhejiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989. 64~88 (in Chinese with English abstract).
- [4] Coulon G, et al. Petrology and geochemistry of the ignimbrites and associated lava domes from N.W. Sardinia [J]. *Contr. Mineral. Petrol.*, 1978, 68: 89~98.
- [5] Weaver S D, et al. A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading [J]. *Contr. Mineral. Petrol.*, 1979, 68: 151~169.
- [6] 国际地层委员会编. 国际地层表 [J]. 金玉玕, 王向东, 王玥译. 地层学杂志, 2005, 29(2): 98.
- International Commission on Stratigraphy. International Stratigraphic Chart [J]. Jin Yugan, Wang Xiangdong, Wang Yue (translators). *Journal of Stratigraphy*, 2005, 29(2): 98.
- [7] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989. 1~688.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Regional Geology of Zhejiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989. 1~688 (in Chinese with English abstract).
- [8] 浙江省地质矿产局. 浙江省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 1~236.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Stratigraphy (Lithostratigraphy) of Zhejiang Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 1~236 (in Chinese).
- [9] 国际地质科学联合会编. 国际地层表 [J]. 金玉玕, 王向东, 王玥译. 地层学杂志, 2003, 27(2): 161.
- International Union of Geological Sciences. International Stratigraphic Chart [J]. Jin Yugan, Wang Xiangdong, Wang Yue (translators). *Journal of Stratigraphy*, 2003, 27(2): 161.

Magmatic consanguinity analysis of the Muchen intrusion and Xishantou Formation volcanic rocks in Zhejiang

LU Cheng-zhong¹, YAN Tie-zeng¹, DONG Chuan-wan², GU Ming-guang¹

(1. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China;

2. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China)

Abstract: The Muchen intrusion and its adjacent Xishantou Formation volcanic rocks and subvolcanic rocks are intimately associated in space and their formation ages are close. Their rock types are all intermediate-acid and have a similar petrochemical composition, all belonging to a weakly alkaline rock series. The REE distribution patterns for various rock types are in the main consistent with the exception of Eu and so are the trace element distribution patterns. This indicates that they are products of evolution of consanguineous magma. They display similarities and consistency in respect to rock types, rock chemistry and REE and trace element geochemistry, and in addition, all their magmatic evolutions show a reverse sequence, which demonstrates that they are a consanguineous volcanic-intrusive rock association. Based on the Jurassic/Cretaceous boundary age of 145.5 ± 4.0 Ma published by the International Commission on Stratigraphy in 2004, combined with the genetic relationship between the Muchen intrusion and its adjacent Xishantou Formation volcanic rocks, it seems more reasonable to define the age of the Muchen intrusion at Early Cretaceous.

Key words: Muchen intrusion; Xishantou Formation volcanic rocks; subvolcanic rocks; consanguineous igneous magma; Early Cretaceous

About the first author: LU Cheng-zhong, male, born in 1950, senior engineer; engages in regional geological survey; E-mail: cz5064@163.com.